

Caracterización edafológica de lomeríos bajo sistema agroforestal y rastrojo en el Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual, Caquetá- Colombia

Rosas-Patiño Gelber^{1*}, Rodríguez-Pérez Wilson¹ & Muñoz-Ramos Jader²

¹Grupo de Investigación en Geociencias, Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia.

Análisis de suelos

²Grupo de Investigación en Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima.

Recibido 18 de septiembre de 2012; Aceptado 12 de diciembre 2012

Resumen

Se evaluaron las características físicas, químicas y biológicas de suelos en dos tipos de coberturas, sistema agroforestal (SAF) y rastrojo (RAS), ubicados en CIMAZ Macagual (Caquetá). Se realizaron las siguientes determinaciones (físicas): profundidad Horizonte A (HA), (Da (cilindro), Dr (picnometría), PT (factor), Hg (gravimetría), RP, Temperatura (°C), CE y textura (boyucos), (Químicos): pH (1:1), AI, ALI, HI, CIC, COX, COT, COE, MO, N total y Bases totales (BT). y (Biológicos): riqueza específica, abundancia específica y abundancia total. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en %limos, %arcillas, AI, ALI, HI, CIC, Ca. Referente a la macrofauna, el suelo bajo cobertura de rastrojo presentó los mayores valores de riqueza (16 órdenes) y abundancia (el 82,6 % de los individuos muestreados) con predominio de Isóptera (1381 ind.m⁻²), Hymenóptera (256 ind.m⁻²) y Coleóptera (85 ind.m⁻²) respecto del suelo de SAF.

Palabras claves: coberturas, macrofauna, materia orgánica, textura, suelos

Abstract

Physical, chemical, and biological characteristics of soils in two types of plants coverage, agro-forestry (AF) and stubble, were evaluated at the Amazonia Research Center CIMAZ Macagual in Caquetá, Colombia. The following variables were made: (physical) Horizont A depth (HA), Apparent density (cylinder), relative density (picnometer), PT (factor), Hg (gravimetry), RP, Temperature (°C), CE and texture (boyucos); (chemical): pH (1:1), AI, ALI, HI, CIC, COX, COT, COE, MO, total N and total Bases (BT); and (biological): specific richness, specific abundance and total abundance. There were significant differences ($p < 0.05$) in silt percentage, clay percentages, AI, ALI, HI, CIC, Ca. In relation to macro fauna, the soil under stubble coverage presented the greatest richness values (16 orders) and abundance (82,6 % of the sampled individuals) predominantly Isoptera (1381 ind.m⁻²), Hymenoptera (256 ind.m⁻²) and Coleoptera (85 ind.m⁻²) in respect to the AF soil.

Key words: Coverage, macro fauna, organic matter, texture, soils

Introducción

En los lomeríos del Departamento del Caquetá predominan los suelos evolucionados-Ultisoles y Oxisoles (Malagón 2003), con texturas finas, valores bajos en pH y bases intercambiables y altos contenidos de hierro y aluminio (Díaz-Granados 1993), debido a que poseen pendientes entre 12 y 25% presentan problemas de erosión (Briceño *et al.*, 1993) que se incrementan con la deforestación, la agricultura convencional, la escorrentía y las altas precipitaciones (Tapia *et al.*, 2002), por ello su fertilidad depende de la presencia de la materia orgánica proveniente de los árboles y sus raíces que retienen los nutrientes en los primeros horizontes (Guayara *et al.*, 2009) en donde predomina la macrofauna, especialmente organismos correspondientes a los órdenes

Hymenóptera, Isóptera, Coleóptera, Collembola, Acari y Thysanoptera (Chamorro & García 1993). La no perturbación del suelo y su cobertura superficial, además de protegerle, favorecen los procesos de descomposición de la materia orgánica, la diversidad y abundancia de macrofauna (Pashanasi 2001), la acumulación de carbono orgánico y la disponibilidad de nutrientes (Maskina *et al.*, 1993) como el nitrógeno total (Abril *et al.*, 2005). Los sistemas agroforestales (SAF) y los rastrojos (RAS) protegen y conservan el suelo y proporcionan equilibrio en el sistema, mientras que los árboles de uso múltiple resultan importantes en la restauración ecológica del suelo y contribuyen con la sostenibilidad económica de los sistemas de producción (Rodríguez *et al.* 2010).

Young (1989); Andrade (2008), afirman que los sistemas agroforestales (SAF), en donde especies

*Autor para Correspondencia: Gelber_rosas@hotmail.com

leñosas son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (Navia *et al.*, 2003), contribuyen a la conservación fisicoquímica de los suelos a través de la incorporación de la hojarasca y la acción de las raíces; particularmente aquellos SAF con *Hevea brasiliensis* Muell (caucho natural), mejoran la profundidad del horizonte superficial y la resistencia a la penetración de los suelos (Rosas 2011). La degradación del suelo se manifiesta en la pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas necesarias para la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres (Ellies 2000; Lupwayi *et al.*, 2001). Por otro lado, la labranza de los suelos disminuye el carbono en sus macroagregados (Six *et al.*, 2000), al respecto Orjuela *et al.* 2011, encontraron que los rastrojos en suelos del Caquetá, incorporan carbono orgánico con mayor eficiencia a los 30 cm de profundidad y mejora la presencia de materia orgánica en los primeros 10cm del suelo (Gamboa *et al.* 2011), en tal sentido, la quema de los rastrojos reduce el carbono y favorece la erosión hídrica de los suelos de lomerío (Sandoval *et al.* 2007). Es por ello que el objetivo de esta investigación fue caracterizar los suelos de lomerío bajo cobertura de SAF y rastrojo como técnicas de labranza para la recuperación y protección de suelos en la Amazonia del Caquetá, Colombia.

Materiales y Métodos

Sitio

El estudio se realizó en suelos de lomerío del Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual (CIMAZ) ubicado en la Amazonia colombiana a 20 km de Florencia Caquetá entre 266 y 280 msnm; la zona presenta valores medios de temperatura de 25,5°C, precipitación de 3793 mm/año⁻¹ y humedad relativa de 76,30%, en una zona de clima tropical lluvioso (Estrada & Rosas 2007).

Muestreo

Se muestrearon suelos de un sistema agroforestal (SAF) de aproximadamente 20 años de establecido con *Hevea Brasiliensis* Mull, frutales como *Bactris gasipaes* Kunth (chontaduro), *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Sprengel) Schumann (copoazú), *Eugenia stipitata* Mc Vaught (arazá), *Borojoa patinoi* Cuatrecasas (borojó) y maderables como *Cedrela odorata* Linneo (cedro),

Laurus nobilis Linneo (laurel) y *Cariniana pyriformis* Miers (abarco) y suelos con cobertura de regeneración natural (rastrojo) (RAS) de aproximadamente diez años en donde predominaron especies como *Miconia* sp. (chilco), *Cecropia membranaceae* Trécul (yarumo), *Piper arboreum* Aubl. (cordoncillo), *Vismia brasiliensis* Choisy (lacre) y *Bellusia grossularoides* (guayabo coronillo). La caracterización del material vegetal estuvo a cargo del Ing. Agroecólogo Edwin Trujillo (Herbario HUAZ). Se tomaron tres muestras por sitio (repeticiones) a 30cm de profundidad utilizando un palin, se rotularon debidamente y se llevaron al laboratorio de suelos de la Unidad de Geociencias en el CIMAZ en donde se analizaron parámetros físicos y químicos.

Caracterización edafológica del suelo

Análisis físico.

Los métodos utilizados para la determinación de las características físicas (Zamudio-Sánchez *et al.* 2006) fueron: Profundidad horizonte A (HA) (Cinta métrica), Densidad aparente (Da) (Cilindro, Castro 1998), Densidad real de partículas (Dr) (Picnómetro, Motta *et al.* 1990), Porosidad total (PT) (Factor Castro 1998), Temperatura (T) (Termómetro de suelos), Resistencia a la penetración (RP) (Penetrómetro de mano *Eijkelkamp*®), Humedad gravimétrica (Hg) (Gravimetría, Motta *et al.* 1990), Arena (A) Limo (L) Arcilla (Ar) (Zamudio *et al.*, 2006), Conductividad eléctrica (CE) (Conductivimetría).

Análisis químico.

Métodos utilizados para la determinación de las características químicas (Zamudio-Sánchez *et al.* 2006) fueron: pH 1:1 (potenciometría), Acidez intercambiable (AI), Aluminio intercambiable (ALI) (Extracción con KCl 1N), Hidrógeno intercambiable (HI) (Diferencia de AI y AL), Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Acetato de amonio 1N), Carbono orgánico oxidable (COX), Carbono orgánico total (COT) (Walkley-Black modificado), Carbono orgánico estable (COE) (Factor Van Bemmelen), Materia orgánica (MO), Nitrógeno total (Nt) (Factor Gros y Domínguez), Bases totales (BT) (Ca, Mg, Na y K) (Acetato de amonio 1N pH 7, absorción atómica Perkin Elmer 3.300).

Análisis biológico.

El estudio de la macrofauna del suelo se realizó según la metodología propuesta por Rosas (2011), se extrajeron tres monolitos de 25cm x 25cm de área superficial cada 5m en dirección a favor de la pendiente del lomerío, posteriormente se separaron por horizontes de suelo –hojarasca (H0), horizontes A (HA) y B (HB) hasta 40 cm de profundidad. Los invertebrados colectados fueron conservados en alcohol al 75%v/v, excepto las lombrices, que se depositaron en una solución de formol al 4%v/v como lo sugiere Sánchez & Restrepo (2004), luego se determinaron a nivel de orden mediante el sistema de clasificación de Borror y Delong (Triplehorn & Johnson 2005).

Análisis estadístico

Se reporta la media±desviación estándar de tres repeticiones. Se realizó prueba de comparación de medias para establecer diferencias significativas ($p<0.05$) entre SAF y RAS. Se determinó diferencia mínima significativa.

Resultados

Los suelos con coberturas de SAF y RAS presentaron diferencias ($P<0,05$) entre sí en los contenidos de A y L. La poca profundidad de HA ($4,67\pm2,52$ cm y $5,00\pm2,00$ cm) concuerda con datos reportados por Briceño *et al.* 1993 quienes encontraron suelos de lomerío en el Caquetá con horizontes A menores a 8 cm. Sin embargo, a pesar de que la incorporación sistemática de hojarasca en SAF y RAS protege el suelo de la erosión y adicionan materia orgánica (Casanova *et al.* 2007), se evidencia la disminución del HA por efecto de la pérdida de suelo por la escorrentía (Hudson 1997) (Tabla 1).

Los valores de D_a , para SAF y RAS (Tabla 1), correspondieron a valores cercanos a los reportados por Montenegro *et al.* (1993) para lomeríos del Caquetá ($1,30\text{g.cm}^{-3}$) y aceptables puesto que se encontraron por debajo de $1,46\text{g.cm}^{-3}$ valor desde el cual se empieza a afectar el desarrollo radicular de las plantas (Vehimeyer & Hendrickson 1948). Se puede deducir que las bajas

Tabla 1. Caracterización física de suelos de lomerío bajo dos tipos de cobertura (SAF y RAS)

Parámetro	SAF	RAS
Profundidad horizonte A (cm)	$4,67\pm2,52a$	$5,00\pm2,00a$
Densidad aparente (g.cm^{-3})	$1,20\pm0,08a$	$1,01\pm0,16a$
Densidad real de partículas (g.cm^{-3})	$2,88\pm0,33a$	$2,56\pm0,02a$
Porosidad total (%)	$57,67\pm0,75a$	$60,24\pm7,04a$
Humedad gravimétrica (%)	$22,76\pm0,54a$	$22,96\pm1,47a$
Temperatura (°C)	$24,60\pm1,95a$	$26,00\pm1,41a$
Conductividad eléctrica (CE) (dS/m)	$0,123\pm0,010a$	$0,145\pm0,017a$
Resistencia a la penetración		
0-10 cm (Mpa)	$1,26\pm0,55a$	$2,25\pm0,57a$
10-20 cm (Mpa)	$1,66\pm0,56a$	$2,18\pm1,14a$
20-30 cm (Mpa)	$2,09\pm0,68a$	$2,37\pm0,51a$
Arena (%)	$32,96\pm2,00a$	$24,29\pm2,31b$
Limo (%)	$29,33\pm3,06a$	$36,00\pm2,00b$
Arcilla (%)	$37,71\pm4,62a$	$39,71\pm4,16a$

SAF: sistema agroforestal; RAS: rastrojo. Letras minúsculas distintas en la misma fila indican diferencia significativa ($p<0,05$)

densidades aparentes obedecen posiblemente a que se midieron en los primeros 10 cm del suelo (Pinzón & Amézquita 1991); la D_a en RAS fue menor que en SAF puesto que el primero presentó un HA levemente mayor, estos datos concuerdan

con los reportados por Alvarado y Forsythe (2005), para suelos de Costa Rica. Según Álvarez y Taboada (2008), los suelos con alto contenido de materia orgánica presentan D_r menor a $2,65\text{g.cm}^{-3}$; por ello, RAS presentó menores valores de D_r

($2,56 \pm 0,02 \text{ g.cm}^{-3}$) que SAF quien reportó una Dr de $2,88 \pm 0,33 \text{ g.cm}^{-3}$. Resultados similares fueron reportados por Rosas (2011) para suelos de lomerío con coberturas de sistemas agroforestales y rastrojos en el Caquetá. La porosidad total (PT) presentó valores de $57,67 \pm 0,75\%$ y $60,24 \pm 7,04\%$ para SAF y RAS respectivamente, propios de suelos de lomerío en los horizontes superficiales (Pinzón 1993) y aceptables en concordancia con Amézquita & Chávez (1999) quienes afirman que valores de PT superiores al 50% facilitan el almacenamiento del agua necesaria para los cultivos. Esta situación permite explicar que los valores de humedad gravimétrica encontrados en SAF y RAS (22,76 y 22,96 % respectivamente) permiten que las plantas tomen el agua sin mayor esfuerzo (Pinzón 1993).

Los valores de temperatura fueron menores en SAF como consecuencia de las copas más densas que presentan los árboles de *H. brasiliensis*, *Theobroma grandiflorum*, entre otros con relación a las especies encontradas en RAS, Pezo e Ibrahim (1998) reportan disminuciones entre 2 y 3 °C por efecto de las coberturas densas de los árboles en los SAF como se observó en el presente trabajo (Tabla 1). La Resistencia a la penetración en cada cobertura fue aumentando proporcional a la profundidad de muestreo, este comportamiento coincide con Pinzón y Amézquita (1991), quienes plantean que en los suelos del Caquetá a medida que aumenta la profundidad, aumenta la resistencia a la penetración y la densidad aparente

y disminuye PT, lo que afecta en mayor o menor medida, el desarrollo del cultivo (Sánchez 1996). Solo RAS presentó valores de resistencia superiores a 2 Mpa valor a partir del cual se ve obstruido el crecimiento de la raíz de las plantas (Gupta y Allmaras 1987; Glinski y Lipiec 1990). SAF y RAS corresponden a suelos de texturas franco-arcillosas (Motta *et al.*, 1990). Sin embargo, estas diferencias texturales entre los valores de limo, arena y arcilla corresponden básicamente al material de origen meteorizado y no de la cobertura (Alvarado 1985). En general, los suelos de lomerío bajo cobertura de SAF y RAS, presentaron propiedades físicas similares a las reportadas en otros estudios de suelos en la zona (Escobar *et al.*, 1998; Zuluaga & Escobar 2000; Pichott 1993; Diaz-granados 1993; Rosas 2011).

En relación a las propiedades químicas (Tabla 2), los suelos caracterizados bajo coberturas de SAF y RAS presentaron diferencias ($P < 0,05$) en parámetros como Acidez, Aluminio e Hidrógeno intercambiable, así como CIC y Calcio. Este comportamiento obedece esencialmente a la incorporación de cal agrícola (CaCO_3) como práctica de manejo en el SAF para controlar los niveles de Hidrógeno y Aluminio como determinadores de la acidez del suelo (Hue & Licudine 1999; Chaves *et al.*, 1990); esta cal se hidroliza y el Calcio ocupa los sitios liberados por el H^+ mientras los iones (OH^-) se unen al ion Al^{+++} en forma de $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ y se precipitan neutralizando el efecto tóxico del Aluminio (Bernier y Alfaro

Tabla 2. Caracterización química de suelos de lomerío bajo dos tipos de cobertura (SAF y RAS)

Parámetro	SAF	RAS
pH	$4,361 \pm 0,28a$	$4,683 \pm 0,30a$
Acidez intercambiable ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{suelo seco}$)	$4,81 \pm 0,31a$	$6,70 \pm 0,30b$
Aluminio intercambiable ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{ms}$)	$4,19 \pm 0,47a$	$5,49 \pm 0,12b$
Hidrógeno intercambiable ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{ms}$)	$0,62 \pm 0,17a$	$1,21 \pm 0,26b$
Capacidad de intercambio catiónico ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{ms}$)	$16,07 \pm 2,77a$	$20,53 \pm 0,31b$
Carbono orgánico oxidable %	$1,24 \pm 0,17a$	$1,44 \pm 0,25a$
Carbono orgánico total %	$1,62 \pm 0,22a$	$1,87 \pm 0,32a$
Carbono orgánico estable %	$0,37 \pm 0,05a$	$0,43 \pm 0,07a$
Materia orgánica %	$2,75 \pm 0,38a$	$3,17 \pm 0,54a$
Nitrógeno total %	$0,138 \pm 0,019a$	$0,159 \pm 0,027a$
Calcio (Ca) ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{suelo seco}$)	$0,72 \pm 0,29b$	$0,24 \pm 0,11a$
Magnesio (Mg) ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{suelo seco}$)	$0,07 \pm 0,02a$	$0,11 \pm 0,06a$
Potasio (k) ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{suelo seco}$)	$0,12 \pm 0,02a$	$0,12 \pm 0,04a$
Sodio (Na) ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{suelo seco}$)	$0,14 \pm 0,01a$	$0,14 \pm 0,01a$
Bases totales (BT) ($\text{cmol.Kg}^{-1}\text{suelo seco}$)	$1,04 \pm 0,251a$	$0,7267 \pm 0,135a$

SAF: sistema agroforestal; RAS: rastrojo. Letra minúscula distinta en la misma fila indica diferencia significativa ($P < 0,05$)

2006). Estas características de pH, Acidez y Aluminio intercambiable son propias de los suelos ácidos con pH entre 4,0 y 5,5 (Fenster & León 1978) y coinciden con los valores reportados, para esta región zona (Briceño *et al.*, 1993; Escobar & Zuluaga 1998; Castro 1998).

La CIC fue mayor en RAS que en SAF (Tabla 2). Siendo valores similares (16 y 18 cmol.Kg⁻¹ suelo seco) (0,32%) a lo reportado por Malagón (2003) para esta zona. Las diferencias entre RAS y SAF pueden presentarse debido posiblemente a que RAS demostró mayor acumulación de materia orgánica (3,17±0,54%) y carbono orgánico total (1,87±0,32%). Al respecto Sandoval *et al.* (2008) afirman que las coberturas de rastrojos aumentan el contenido de carbono en el suelo. A pesar de que el contenido de MO suele ser bajo en suelos bajo laboreo (entre 1 y 3%), incide significativamente en el sistema suelo-agua-soluto (García *et al.* 2003) puesto que en algunos suelos el complejo de

cambio está determinado por el componente orgánico y no tanto por la arcilla (Sadzawka *et al.* 1995).

Referente a la macrofauna (Tabla 3), el suelo bajo cobertura de rastrojo presentó los mayores valores de riqueza (16 órdenes) y abundancia (el 82,58 % de los individuos muestreados) con predominio de Isóptera (1381,30ind.m⁻²), Hymenóptera (256, 00 ind.m⁻²) y Coleóptera (85,33ind.m⁻²) quienes son considerados por Rojas (2003) como organismos sociales dado que viven en colonias y presentan movilidad entre coberturas. Del mismo modo, predominaron en RAS, organismos de composición trófica predatora (Sevilla 2002) como Araneae (42,67ind.m⁻²), Pseudoescorpionida (26,67 ind.m⁻²) y Escolopendromorpha (26,67ind.m⁻²) y los Collembola quienes disminuyen su población como consecuencia de los desequilibrios del ecosistema (Luciáñez & Iniesto 2006). Estos resultados pueden obedecer al menor grado de

Tabla 3. Densidad de macrofauna presente en suelos de lomerío bajo SAF y RAS en Caquetá

Orden	Cobertura							
	Ho	SAF Ind./m ²			RAS Ind./m ²			
		Ha	Hb	Total	Ho	Ha	Hb	Total
Isoptera	16,0± 27.7a	192,0± 200,5a	nd	208	272,0± 353,8a	789,3± 128,3a	320,0± 273,4a	1381,3
Coleoptera	5,3±9.2a	5,3±9,2a	5,33± 9,2a	16	69,3± 82,1a	5,3± 9,2a	10,7± 9,2a	85,3
Hymenoptera	40,7±48.0a	16,0± 27,7a	nd	56,7	117,3± 96,4a	58,7± 88,1a	80,0± 138,6a	256
Araneae	6,0± 8.7	nd	nd	6	42,7± 24,4	nd	nd	42,7
Haplotáxida	5,7± 8.9a	90,7± 40,3b	21,33± 37,0a	117,7	nd	26,7± 24,4a	5,3± 9,2a	32
Pseudoescorpionida	nd	nd	nd	nd	10,7± 9,2a	16,0± 16a	nd	26,7
Escolopendromorpha	5,3±9.2	nd	nd	5,3	nd	26,7± 24,4	nd	26,7
Protura	nd	nd	nd	nd	nd	5,3± 9,2	nd	5,3
Opilionida	nd	nd	nd	nd	5,3± 9,2	nd	nd	5,3
Collembola	nd	nd	5,33± 9.2	5,3	26,7± 46,2	nd	nd	26,7
Acareae	nd	nd	nd	nd	32,0± 27,7	nd	nd	32
Pulmonata	nd	nd	nd	nd	10,7± 18,5	nd	nd	10,7
Blattodea	nd	nd	nd	nd	5,3± 9,2a	5,3± 9,2a	nd	10,7
Julidae	nd	nd	nd	nd	5,3± 9,2	nd	nd	5,3
Lepidoptera	nd	nd	nd	nd	5,3± 9,2	nd	nd	5,3
Siphonaptera	nd	nd	nd	nd	16,0± 27,7	nd	nd	16
Riqueza específica (No Órdenes)	6	4	3	7	13	8	nd	16
Abundancia específica	79	304	32	415	618,7	933,3	416	1968
Abundancia específica (%)		17,4				82,6		
Abundancia total				2383				

nd: no detectado. Igual letra minúscula después de la desviación estándar en la misma fila indica no diferencia significativa (p<0.05). Se reporta media de tres determinaciones.

perturbación de RAS que incide en la riqueza y densidad de invertebrados (Zervino *et al.* 2008; Morales y Sarmiento 2002), a la mayor profundidad del horizonte orgánico Ha (Tabla 3) que acumula mayor MO y COT como alimento para los macroinvertebrados (Castro 1998; Decaens *et al.* 1998) así como a la mayor diversidad vegetal del rastrojo que representa mayor diversidad de alimento para la macrofauna (Siemman *et al.* 1999).

Los menores valores reportados en SAF obedecen posiblemente a las perturbaciones del sistema originadas la actividad humana (labores de manejo y fertilización) en el suelo que afectó negativamente su diversidad biológica (Fragoso *et al.* 2001), sin embargo, SAF presentó mayor densidad de Haplotáxida ($117,67 \text{ ind.m}^{-2}$) las cuales toleran mejor que otros organismos las perturbaciones del medio (Feijoo *et al.* 2007). En relación con la distribución vertical (Figura 1), los suelos bajo las dos coberturas (SAF y RAS) evaluadas registraron mayor porcentaje de macrofauna en HA y H0 debido a la presencia de MO en descomposición en estos horizontes (Tabla 2), resultados similares fueron reportados por Decaens *et al.* (2001). HB presentó los menores valores debido a que la macrofauna encontrada posee un comportamiento epigeo (León *et al.* 2010).

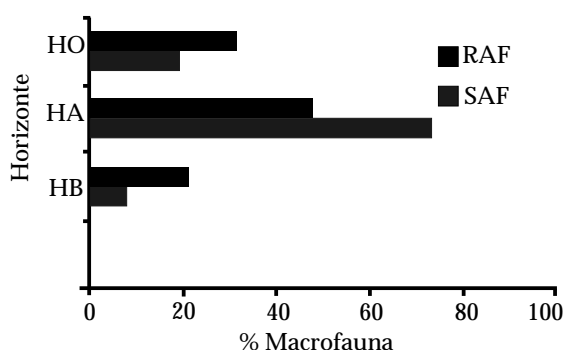


Figura 1. Distribución vertical de la abundancia de macrofauna por horizontes de suelo de lomerío bajo Sistema agroforestal y Rastrojo, en el Caquetá

RAS presentó el 47,43 % de individuos en HA, el 31,44 % en la hojarasca (H0) y el 21,14 % en HB; la macrofauna en SAF predominó en HA (73,25 %) y presentó su menor valor en HB (7,71 %). Resultados similares fueron reportados para la misma zona por Chamorro y García (1993), quienes afirman que el 57 % de la macrofauna de los lomeríos intervenidos habitan en los horizontes

superficiales; Tapia *et al.* (2002) encontraron similares resultados para suelos bajo cobertura de chamizales en la Amazonia peruana.

Se concluye que los efectos de los sistemas agroforestales sobre las propiedades físicas de los suelos no son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$) a los ocasionados por los rastrojos. Los suelos bajo sistema agroforestal y rastrojo no presentaron restricciones de uso en propiedades como la densidad aparente, porosidad total y resistencia a la penetración. Los suelos de rastrojo presentaron mayor riqueza y abundancia que el sistema agroforestal, con predominio en las dos coberturas de organismos sociales como Isóptera, Hymenóptera y Coleóptera; en el rastrojo predominaron individuos susceptibles a perturbaciones del medio como los Collembola y organismos predadores como los Araneae, Pseudoescorpionida y Escolopendromorpha. La abundancia de macrofauna del suelo en rastrojo y sistema agroforestal se encontró en HA seguido de H0 y HB con predominio en los horizontes orgánicos por su comportamiento epigeo. Las características físicas, químicas y biológicas de los suelos de lomerío bajo rastrojo y sistema agroforestal coincidieron con los valores reportados para la zona por otros autores.

Agradecimientos

A Vicerrectoría de investigaciones por la financiación. A los estudiantes de física, química y biología del suelo del programa Ingeniería Agroecológica de la Universidad de la Amazonia por su apoyo en las labores de muestreo. A la Ingeniera Claudia Lorena Castro por su apoyo en el análisis de datos. A los funcionarios del centro de Investigaciones Macagual y al laboratorio de suelos de la Unidad de Geociencias-Uniamazonía, por su apoyo en el análisis físico, químico y biológico de suelos.

Literatura Citada

- Abril, Adriana *et al.* 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de Argentina. *Cienc. suelo*[online]., vol.23, n.2 [citado 2012-02-06], pp. 179-188. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672005000200008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1850-2067.
- Amézquita, E; Chávez, L. 1999. La compactación del

- suelo y sus efectos en la productividad de los suelos. En: Memorias del Congreso costarricense de la ciencia del suelo. San José de Costa Rica. 24 pp.
- Alvarado, A. 1985. El origen de los suelos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. 50 pp.
- Alvarado, A; Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense* 29 (1): 85-94 pp.
- Álvarez, C; Taboada, C. 2008. Indicadores de fertilidad física del suelo. En: Fertilidad física de los suelos. Taboada, M.A y Álvarez, C.R. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 227 pp.
- Andrade, H. 2008. Sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 29 pp.
- Bernier, R. y Alfaro, M. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. Instituto de investigaciones agropecuarias -INIA-. Boletín INIA No. 151. Chile. 45 pp.
- Briceño J; Rubio, P; Camacho, J; López, A; Marulanda, J; Pulido, C; Espitia, M; Vásquez, C. 1993. Estudio general de suelos. En: Malagón, D; Díaz, D; Saldarriaga, J; Rinaudo, U. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Colombia. Tomo I. Capítulo IV: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá, D. C. 1633 pp.
- Casanova, F; Ramírez, L; Solorio, F. 2007. Interacciones radicales en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances de investigación agropecuaria* 11(3):41-52.
- Castro, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de los suelos agrícolas: Manual Técnico. Instituto Universitario Juan de Castellanos. Bogotá, D.C. 284 pp.
- Chamorro, C; García, M. 1993. Características edafológicas. En: Malagón, D; Díaz, D; Saldarriaga, J; Rinaudo, U. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Colombia. Tomo II. Capítulo IV. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). ISBN: 95378-6-3. 1633 pp.
- Chaves, J.; Pavan, M. y Miyazawa, M. 1990. Reducao da acidez subsuperficial em colúna de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasil. 23(5):469-476.
- Decaens, T; Lavelle, P; Jimenez, J; Escobar, G; Rippstein, G; Schneidmadl, J; Sanz, J; Hoyos, P; Thomas, R. 2001. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los Llanos Orientales. En: Rippstein, G; Escobar, G; Motta, F. Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 300 pp.
- Díazgranados, D. 1993. Caracterización socio ambiental de la zona de estudio. En: Malagón, D; Díaz, D; Saldarriaga, J; Rinaudo, U. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Colombia. Tomo II. Capítulo IV: 1067-1219. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá, D. C.
- Ellies, A. 2000. Soil erosion and its control in Chile: an overview. *Acta Geologica Hispanica* 3-4: 271-278 pp.
- Escobar, C. y Zuluaga, J. 1998. Aspectos de los suelos del Departamento de Caquetá con relación al uso y manejo. CORPOICA Regional 10. Florencia (Caquetá, Colombia). 7 pp.
- Estrada, C; Rosas G. 2008. Centro de Investigaciones Amazónicas Macagual (CIMAZ). *Rev: Momentos de Ciencia* 5: 1-2 p.
- Feijoo, A; Zúñiga, M; Quintero, H; Lavelle, P. 2007. Relaciones entre el uso de la tierra y las comunidades de lombrices en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Pastos y Forrajes*. 30:235
- Fenster, W; León, L. 1978. Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento y mantenimiento de pastos mejorados en suelos ácidos e infértiles de América Tropical. En: Tergas, L; Sánchez, P. 1978. Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Centro internacional de agricultura tropical (CIAT). Colombia. 513 pp.
- Fragoso, C; Reyes, P; Rojas, P. 2001. La importancia de la biota edáfica en México. *Rev: Acta zoológica mexicana (nueva serie)*, 1:1-10 pp.
- Gamboa, J; Suarez, J; Orjuela, J. 2011. Macroinvertebrados edáficos asociados a rastrojos en paisaje de lomerío en la Amazonia colombiana. En: Orjuela, J; Suárez, J. 2011. Valoración de rastrojos para la formación de sistemas silvopastoriles en la Amazonia colombiana. 156 pp.
- García, D; Moreno, C; Atienza del Rey, J; Marinero, P. 2003. Variabilidad espacial del contenido de materia orgánica en el suelo de una plantación de viñedo. En: Álvarez, J; Marinero, P. 2003. Estudios de la zona no saturada del suelo. Vol. VI. 223-228 pp.
- Glinski, J. y Lipiec, J. 1990. *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.
- Guayara, A; Gamboa, J; Velásquez, J. 2009. Ganadería silvopastoril en la amazonia colombiana. Universidad de la Amazonia. 138 pp.
- Gupta, S. y Allmaras, R. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Soil and Tillage Research* 10:29-38 pp.
- Hue, N. y Licudine, D. 1999. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 28, 623-632 pp.
- Hudson, N. 1997. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y la escorrentía. Boletín de suelos Nro 68. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y el Alimento (FAO). Roma. 145 pp.
- León, A; Ramos, C; García, M. 2010. Efecto de plantaciones de pino en la artropofauna del suelo de un bosque Altoandino. *Rev. biol.trop* [online]. vol.58, n.3 [citado 2011-11-27], pp. 1031-1048. Disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000300016&lng=es&nrm=iso>. ISSN

- 00347744.
- Luciáñez, M; Iniesto, P. 2006. Estudio faunístico y ecológico de las comunidades de Colémbolos (Hexapoda, Collembola) de pinares incendiados en la vertiente sur de la Sierra de Gredos. Boln. Asoc. Esp. Ent. 30 (3-4). 75-96 pp.
- Lupwayi, N. Z., M. A. Arshad, W. A. Rice, and G. W. Clayton. 2001. Bacterial diversity in water-stable aggregates of soils under conventional and zero tillage management. Appl. Soil Ecol. 16: 251-261 pp.
- Malagón, D. 2003. Ensayo sobre tipología de los suelos colombianos (Énfasis en génesis y aspectos ambientales). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(104). 319-341 pp.
- Maskina, M; Power, J; Doran, J; Wilhelm, W. 1993. Residual effects of no-till crop residues on corn yield and nitrogen uptake. Soil Sci Soc Am J 57: 1555-1560.
- Montenegro, H; López, G; Barrera, M. Degradación del suelo por efecto de factores agroclimáticos. 1993. En: Malagón, D; Díaz, D; Saldarriaga, J; Rinaudo, U. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. En: Malagón, D; Díaz, D; Saldarriaga, J; Rinaudo, U. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Colombia. Tomo II. Capítulo IV: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá, D. C. 1633 pp.
- Morales, J; Sarmiento, L. 2002. Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el paramo venezolano. Ecotropicos 15(1):99-110 pp.
- Motta, B; Rodríguez, C; Montenegro, H; Marulanda, J; Correa, A; Bendeck, M. 1990. Métodos analíticos de laboratorio. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Colombia. 501 pp.
- Navia, J.; Restrepo, J.; Villada, D. y Ojeda, P. 2003. Agroforestería: opción tecnológica para el manejo de suelos en zonas de ladera. Manual de capacitación. Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola (FIDAR). Cali. 78 pp.
- Orjuela, J; Andrade, H; Ramírez, B. 2011. Almacenamiento de carbono en áreas de regeneración natural en paisajes ganaderos de la Amazonia colombiana. En: Orjuela, J; Suárez, J. 2011. Valoración de rastrojos para la formación de sistemas silvopastoriles en la Amazonia colombiana. 156 pp.
- Pashanasi, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia peruana. Rev: Folia amazónica. Vol. 12 (1-2). 75-97.
- Pichott, J. 1993. Aspectos geomorfológicos. En: Malagón, D; Diazgranados, D; Saldarriaga, J y Rinaudo, U. (Eds.). Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del Occidente del Departamento del Caquetá. Colombia. Tomo II. Capítulo IV. Tercer Mundo Editores. Santafé de Bogotá, D.C. (Proyecto Investigaciones para la Amazonia - INPA-: Estudios en la Amazonia Colombiana VI).
- Pinzón, A. 1993. Impacto de la ganadería en la degradación física. En: Malagón, D; Díaz, D; Saldarriaga, J; Rinaudo, U. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Colombia. Tomo II. Capítulo IV: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá, D. C. 1633 pp.
- Pinzón, A. y Amézquita, E. 1991. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas Tropicales 13(2):21-26.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1998. Colección módulos de enseñanza agroforestal: Sistemas silvopastoriles. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)-GTZ. Turrialba, Costa Rica. 247 pp.
- Rodríguez, Y; Álvarez, P; Riera, M; Telo, L. 2010. Estrategia de diversificación sostenible de especies perennes en un sistema agroforestal en Guantánamo, Cuba. Rev. Gestión Ambiental 20: 48-62 pp.
- Rojas, P. 2003. El papel de las Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en la dinámica edáfica. En: Álvarez, J; Naranjo, E. Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México. 286 pp.
- Rosas, G. 2011. Precisión de cinco métodos analíticos implementados en el laboratorio de suelos del centro de Investigaciones Amazónicas Macagual, Caquetá Colombia. En: Aportes al conocimiento del piedemonte amazónico: Uniamazonia investiga. 2011. Estrada, G; Suárez, J. 206-214 pp.
- Rosas, G. 2011. Incidencia de sistemas agroforestales con *Hevea brasiliensis* Muell sobre la edafología del lomerío intervenido en Caquetá (Colombia). 82 pp.
- Sadzawka, A; Peralta, M; Ibarra, M; Peralta, J; Fuentes, J. 1995. Características químicas de los suelos chilenos. Rev. Bosque 16 (1). 9-28 pp.
- Sánchez R. 1996. Dinámica y Mecánica de suelos. 1^{era} ed. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid. 426 pp.
- Sánchez, S; Restrepo, G. 2004. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas puras o intercaladas con leucaena. Rev. Pastos y forrajes, Vol. 27 (4). 347-353 pp.
- Sandoval, M; Stolpe, N; Zagal, E; Mardones, M; Celis, J. 2008. Aporte de carbono orgánico de la labranza cero y su impacto en la estructura de un andisol de la Precordillera Andina Chilena. Agrociencia [online]. 2008, vol.42, n.2 [citado 2012-02-06], pp. 139-149. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000200001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1405-3195.
- Sevilla, F. 2002. Distribución y abundancia de la macrofauna asociada con unidades locales de clasificación de suelos en la microcuenca Potrerillo, Cauca, Colombia. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia,

- Palmira. 129 pp.
- Siemann, E; Haarstad, J; Tilman, D. 1999. Dynamics of plant and arthropod diversity during aldfield succession. *Ecography* 22: 406-414.
- Six, J., K. Paustian, E. Elliott, and C. Combrink. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregateassociated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689 pp.
- Tapia, S; Pashanasi, B; Del Castillo, D. 2002. Estudio preliminar de la macrofauna del suelo en áreas de varillales y chamizales de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*. Vol 13 (1-2). 65-86 pp.
- Triplehorn, C; Johnson, F. 2005. *Borror and delong's: introduction to the: Study of insects*. 7ma ed. Ed. Thomson. ISBN: 0-03-096835-6. United States. 864 pp.
- Veihmeyer, F; Hendrickson, A. 1948. Soil density and root penetration. *Soil Science*, 65(6):487-493.
- Young. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. International Council for Research in Agroforestry CAB-ICRAF. 267 pp.
- Zamudio, A; Carrascal, C; Pulido, J; Gallardo, E; Ávila, M. y Vargas, Vera, D. 2006. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. 6ª ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá, D. C. 648 pp.
- Zervino, S; Altier, N; Morón A; Rodríguez, A. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción ensiembra directa y con pastoreo. *Agrociencia* (2008) Vol XII N° 1. 44 - 55pp.
- Zuluaga, J; Escobar, C. 2000. Efecto del manejo agroforestal en el desarrollo y producción del caucho (*Hevea brasiliensis* Muell) en dos áreas del piedemonte del Caquetá. CORPOICA. Boletín divulgativo No. 2. Florencia (Caquetá, Colombia). 9 pp.